

Высокоскоростной поезд Zefiro

Компания Bombardier Transportation обнародовала концепцию семейства высокоскоростных поездов нового поколения, получивших условное название Zefiro. В концепции заложено максимально возможное использование технических решений, компонентов и материалов как новых, так и хорошо зарекомендовавших себя в практическом применении во многих странах мира.

Концепция проекта

Bombardier разрабатывала проект Zefiro исходя из того, что будущее железнодорожных пассажирских перевозок зависит от способности железных дорог и промышленности осуществить прорыв в области проектирования, изготовления и внедрения подвижного состава, основанный на использовании последних технологических достижений. Предложения железных дорог в настоящее время базируются в основном на разработках прошлого века, так что необходима дополнительная технико-эксплуатационная гибкость и адаптивность для удовлетворения быстро меняющихся потребностей пассажиров в сообщениях разного рода в условиях жесткой конкуренции со стороны других видов транспорта. Кроме того, необходимо принимать во внимание интересы компаний-операторов, стремящихся снизить расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава.

Именно эти соображения были заложены в проекте Zefiro — высокоскоростного поезда нового поколения, отличающегося увеличенной пассажироместимостью и технико-эксплуатационной совместимостью с инфраструктурой железных дорог разных стран Европы, что должно обеспечить его пригодность и для международных сообщений.

Это можно проиллюстрировать на примере поезда в варианте Zefiro 300+. Поезд длиной 200 м сформирован из восьми вагонов, но можно эксплуатировать два поезда в одном сцепе с управлением по системе многих единиц. Мощность тягового привода поезда составляет 8200 кВт, что позволяет обеспечить максимальную эксплуатационную скорость до 350 км/ч при пусковом ускорении $0,57 \text{ м/с}^2$, так что на крейсерскую скорость поезд выходит примерно за 9 мин (лучший из имеющихся показателей).

В поезде принят принцип распределенной тяги, т. е. половина колесных пар — обмоторенные. Соблюдены требования по безопасности при столкновении, заложенные в спецификациях по технико-эксплуатационной совместимости (TSI), для чего в несущих конструкциях лобовых частей концевых вагонов применена низкоуглеродистая сталь, в то время как в основной конструкции кузовов вагонов — алюминиевые сплавы.

При проектировании поезда Zefiro учтен опыт компании, накопленный при создании высокоскоростных поездов, эксплуатирующихся в настоящее время во многих странах (Bombardier полностью или частично участвовала в создании 95 % таких поездов, построенных для железных дорог Европы). Это, в частности, нашло отражение в прогрессивных технических решениях по токоприемникам, тележкам, электрооборудованию тягового привода, аппаратуре систем управления движением поездов. Примеры:

- общая компоновочная концепция. Использован опыт создания успешно эксплуатирующихся высокоскоростных поездов, таких, как TGV Duplex (Франция), AVE S-102 (Испания), ICE3 (Германия), Regina (Швеция) и Meridian (Великобритания);
- кузова вагонов трубчатой цельнонесущей конструкции. В основном использован опыт создания поезда ICE3 с элементами основной конструкции из алюминиевого сплава и лобовыми частями концевых вагонов из стали;
- тяговые трансформаторы. Использованы технические решения, примененные в поездах AGC (Франция), Regina, Öresund (Дания и Швеция), Gardemoen Express (Норвегия) и Electrostar (Великобритания);
- тележки для высокоскоростного движения. Заимствованы технические решения поездов ICE3 и AVE S-102.

Фирменный тяговый привод типа Mitrac Bombardier также разработала с учетом опыта создания и эксплуатации многих из указанных выше поездов.

Кроме того, поезду Zefiro присущ новый, более высокий уровень промышленного дизайна, который обеспечивает улучшение эстетических и технико-эксплуатационных характеристик, а также повышение уровня комфорта для пассажиров (в проработке дизайнерских решений приняла участие известная фирма Zagato; использован также научно-технический потенциал родственной компании Bombardier Aerospace, работающей в авиационно-космической



Рис. 1. Один из вариантов внешнего облика поезда Zefiro

отрасли). Особое внимание уделено аэродинамике поезда, что нашло отражение в следующих аспектах:

- скорость. Улучшенные аэродинамические характеристики поезда Zefiro устраняют излишний «захват»

Таблица 1

Основные размерные характеристики поезда Zefiro

Параметр	Значение
Длина поезда, м:	
четырехвагонного	100
16-вагонного	400
Длина вагона, мм:	
концевого	26 390
промежуточного	24 775
Расстояние между центрами тележек, мм	17 375
Высота пола пассажирских салонов и входных площадок над УГР, мм	1 250
Ширина кузовов вагонов, мм	2 900 или 3 400
Высота крыши над УГР, мм	3 890
Рабочая высота полозов токоприемников над УГР, мм	5 300 – 6 500
Диаметр колес новых/изношенных, мм	915/835
Высота оси автосцепок над УГР, мм	880
Ширина/высота дверных проемов, мм	900/2 000

Таблица 2

Основные технические характеристики поезда Zefiro

Параметр	Значение	
	Zefiro 250	Zefiro 300+
Скорость, км/ч:		
конструкционная	300	350
максимальная эксплуатационная	250	300
Максимальный тормозной путь, м, поезда с расчетным числом пассажиров на площадке при торможении со скорости:		
250 км/ч	3 000	
160 км/ч	1 400	
Ускорение, м/с ² , поезда с расчетным числом пассажиров:		
пусковое	0,57	
остаточное при максимальной эксплуатационной скорости	0,07	0,06
Замедление при служебном торможении, м/с ² , в скоростном диапазоне:		
выше 200 км/ч	0,6	
200 – 0 км/ч	0,8	
Максимальная тяговая мощность, кВт	6 150	8 200
Расчетный срок службы, лет	25	

воздуха, что уменьшает сопротивление движению и способствует повышению максимальной скорости движения при одновременном снижении потребления энергии на тягу и, следовательно, затрат компании-оператора. Это достигнуто за счет выбора оптимальных очертаний лобовых частей концевых вагонов, конструкции токоприемников, «юбок» и кожухов, закрывающих размещенное под кузовами оборудование и межвагонные переходы;

- безопасность. Благодаря особенностям взаимодействия поезда с окружающей воздушной средой достигнуто снижение центра масс при движении с высокой скоростью, что повышает сопротивляемость воздействию бокового ветра и стабильность хода;

- снижение уровня шума. Уровень шума при движении поезда снижен как снаружи, так и внутри, что благотворно сказывается на внешних экологических характеристиках поезда и комфорте для пассажиров.

В сопоставлении с эксплуатируемым в настоящее время высокоскоростным подвижным составом поездов Zefiro имеет следующие основные преимущества: увеличенную пассажировместимость, повышенную адаптивность к пожеланиям заказчиков и эксплуатационную гибкость. Поезда разных модификаций можно строить в расчете на максимальную скорость от 200 до 350 км/ч с составностью от четырех до 16 вагонов и длиной от 100 до 400 м соответственно, изготавливать вагоны с кузовами стандартной (МСЖД) или увеличенной ширины и разными очертаниями лобовых частей концевых вагонов.

Поезд Zefiro предназначен для эксплуатации на внутренних и международных маршрутах на линиях, электрифицированных по разным системам тягового электроснабжения (до четырех) и оснащенных разными системами сигнализации и управления движением поездов.

Разработка поезда велась с учетом максимальной экономической эффективности для компаний-операторов, которая достигается за счет относительно низких эксплуатационных расходов.

Один из вариантов дизайнерской проработки внешнего вида поезда Zefiro приведен на рис. 1, сведения об основных его размерных и технических характеристиках, а также расчетных условиях эксплуатации — в табл. 1 – 3.

Формирование поезда

Поезда Zefiro независимо от составности формируются из вагонов трех типов: концевых моторных (Mc), промежуточных моторных (M) и промежуточных прицепных с токоприемником (Tr) и без токоприемника (T).

Из этих вагонов комплектуются так называемые базовые четырехвагонные секции двух видов: секция

Таблица 3

Расчетные условия эксплуатации поезда Zefiro

Параметр	Значение
<i>Путь</i>	
Ширина колеи, мм	1 435
Подуклонка рельсов	1:40
Минимальный радиус проходимых кривых, м:	
вертикальной выпуклой	600
вертикальной вогнутой	900
горизонтальной для поезда	150
горизонтальной для одиночного вагона	120
обратных (первая кривая/длина прямой вставки/вторая кривая)	190/0/190; 150/6/150
Расстояние между осями путей, мм	4 200
Максимальная крутизна уклонов, ‰	30
<i>Посадочные платформы</i>	
Расстояние от оси пути до края платформы, мм	1 750
Высота платформы, мм	1 250
<i>Система тягового электроснабжения переменного тока 50 Гц</i>	
Напряжение, кВ:	
номинальное	25
минимальное	17,5
максимальное в течение 1 с	31
<i>Контактная подвеска</i>	
Высота контактного провода над УГР, мм	5 300 – 6 500
Сила натяжения контактного провода, кН	15 – 25
<i>Окружающая среда</i>	
Температура воздуха, °С	– 40 – +40
Влажность воздуха, %, при 25 °С	95
Максимальная скорость бокового ветра, м/с:	
номинальная	15
экстремальная	30
Максимальная высота над уровнем моря, м	1 500

1 (для вариантов поезда с максимальной скоростью 250 и 300 км/ч) — Mc1+Tr1+T1+M1; секция 2 для 250 км/ч — Mc2+Tr2+T2+T3, для 300 км/ч — Mc2+Tr2+T2+M2. Из двух секций формируется восьмивагонный поезд, из четырех — 16-вагонный.

Каждая базовая секция имеет независимый тяговый привод, соответствующий системе (или системам) тягового электроснабжения, систему питания вспомогательных бортовых потребителей энергии переменным током 400 В и постоянным током 110 В.

Каждая секция оснащена одним токоприемником, высокое напряжение распределяется по вагонам секции посредством высоковольтной шины.

Силовые электрические схемы и схемы управления моторных вагонов Mc и M одинаковы, различие заключается лишь в наличии дополнительного обо-

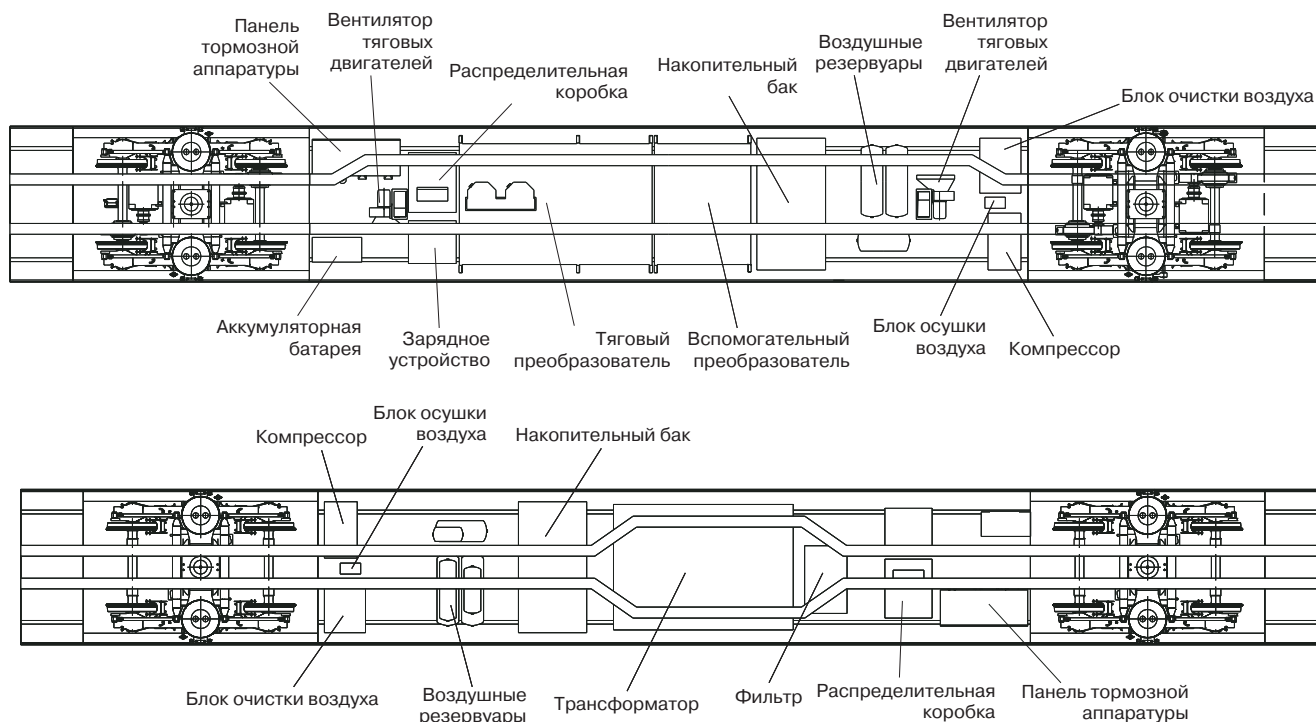


Рис. 2. Размещение оборудования под кузовом:
 а — моторного вагона; б — прицепного вагона

рудования в кабине управления концевого вагона. Все колесные пары этих вагонов обмоторены.

Размещение основного оборудования под кузовами вагонов проиллюстрировано на рис. 2.

Кузова вагонов

Конструкция

Кузова имеют цельносварную трубчатую конструкцию, основными элементами которой являются рама, боковые стенки, кабина управления (в концевых вагонах), торцовые стенки и приваренные кронштейны и держатели для крепления компонентов наружного и внутреннего оснащения. В зависимости от типа вагона (моторный или прицепной) кузов приспособлен к сопряжению с моторными или поддерживающими тележками соответственно.

Конструкция кузовов разработана в соответствии с принципом максимально возможного ее облегчения в той мере, в какой это допускается по условиям доступности материалов и согласуется с потребностями заказчика.

Внутри черновой кузов представляет собой по всей длине трубу, которую можно использовать для оснащения в соответствии с принятыми решениями по интерьеру.

Наружная поверхность кузовов выполняется гладкой, без выступающих частей.

Расчетные эксплуатационные требования:

- стабильность под воздействием бокового ветра. Поезд должен сохранять устойчивость при движении в кривой со скоростью 250 км/ч с поперечным ускорением $0,72 \text{ м/с}^2$, соответствующим недостатку вышестоящего наружного рельса 110 мм, и с полной расчетной населенностью под воздействием бокового ветра скоростью 25 м/с;

- сопротивляемость перепадам давления. Кузова вагонов с конструктивной точки зрения должны выдерживать накопленные в течение срока службы аэродинамические нагрузки, обусловленные перепадами давления воздуха в процессе эксплуатации. Высокая степень герметичности (воздухонепроницаемости) кузовов вагонов высокоскоростного поезда обеспечивает должный уровень комфорта для пассажиров в случае резкого изменения давления наружного воздуха, что имеет место при входе поезда в тоннели и выходе из них, а также при встрече двух поездов, движущихся с высокой скоростью. В качестве исходной предпосылки принято, что при входе поезда, идущего со скоростью 250 км/ч, в тоннель, имеющий поперечное сечение 80 м^2 , давление воздуха в пассажирских салонах в течение 4 с должно измениться не более чем на 800 Па. Требуемая степень воздухонепроницаемости обеспечивается применением конструкции кузова из сваренных по всей длине профильных элементов из алюминиевых сплавов, а также тщательной проработкой и изготовлением систем и компонентов, которые могут влиять на герметичность (таких, как

входные и выходные отверстия систем вентиляции и кондиционирования воздуха, двери, окна, туалеты и межвагонные переходы);

- распределение статического давления воздуха.

Все входные отверстия систем вентиляции и кондиционирования воздуха размещены выше уровня окон. В противном случае должны быть предприняты меры по предотвращению засасывания снега, воды и частиц пыли в целях недопущения засорения ими отверстий и каналов, по которым проходят потоки воздуха.

Кабины управления

На обоих концах поезда Zefiro имеются кабины управления. Передняя по направлению движения кабина является рабочей, заднюю можно использовать как помещение для членов поездной бригады. Рабочее место машиниста спроектировано исходя из условий обеспечения максимального комфорта и безопасности.

Доступ в кабину возможен из смежного с ней пассажирского салона. Снаружи кабина запирается на ключ, изнутри открывается с помощью специальной рукоятки, что дает машинисту возможность быстро покинуть кабину в аварийной ситуации.

С каждой стороны кабины имеется видеочасть заднего обзора. Каждая камера соединена с монитором, вмонтированным в пульт управления с соответствующей его стороны.

Остекление лобового окна оснащено проволочным электрическим нагревателем максимальной тепловой мощностью 7 Вт/дм² и рассчитано на сопротивление удару летящего предмета в соответствии со стандартом Франции ТВ 20.100 (2-е издание).

Лобовые части кузовов концевых вагонов интегрированы в их основную конструкцию и могут быть сняты для технического обслуживания и ремонта. Эти части могут иметь разные очертания, которые в любом случае согласованы с наружными очертаниями вагонов. Рисунок боковых окон кабин управления подчеркивает стремительность поезда.

Межвагонные переходы

Межвагонные переходы расположены над сцепными устройствами смежных вагонов с частичным на них опиранием. Переходы уплотнены против попадания снега и воды. Предусмотрены меры по уменьшению проникновения наружного

шума в пассажирские салоны при открытии дверей переходов.

Длина перехода составляет 800 мм, ширина и высота в свету — 100 и 2000 мм соответственно.

Планировка и оснащение внутренних помещений

Компоновка

Внутренние помещения вагонов поезда Zefiro предлагают всем находящимся на борту лицам — пассажирам, машинисту, членам поездной бригады, обслуживающему персоналу — комфортную и безопасную среду. Внутреннее оснащение выполнено по модульному принципу, что позволяет, с одной стороны, снизить стоимость его проектирования и изготовления по конкретным заказам и, с другой стороны, упростить содержание и замену компонентов.

Предусмотрена возможность применять и комбинировать разные решения интерьеров в зависимости от характера поездок, например менять шаг расстановки кресел в разных частях одного и того же вагона, не говоря о поезде в целом.

Помещения вагонов спроектированы из расчета обеспечения надлежащей звуко- и теплоизоляции, удобства уборки и очистки, а также сопротивляемости проявлениям вандализма.

В поезде имеются пассажирские салоны первого (в двух концевых вагонах) и второго (в промежуточных вагонах) класса. Кресла в салонах первого класса расставлены по схеме 2 + 2, второго класса — 2 + 3. Кресла установлены на закрепленных на полу и боковых стенках направляющих, их можно передвигать для изменения шага расстановки в соответствии с пожеланиями заказчика. Можно также выделять зоны с особым расположением мест для сидения.

Примеры планировки пассажирских салонов первого, второго класса и с баром приведены на рис. 3.

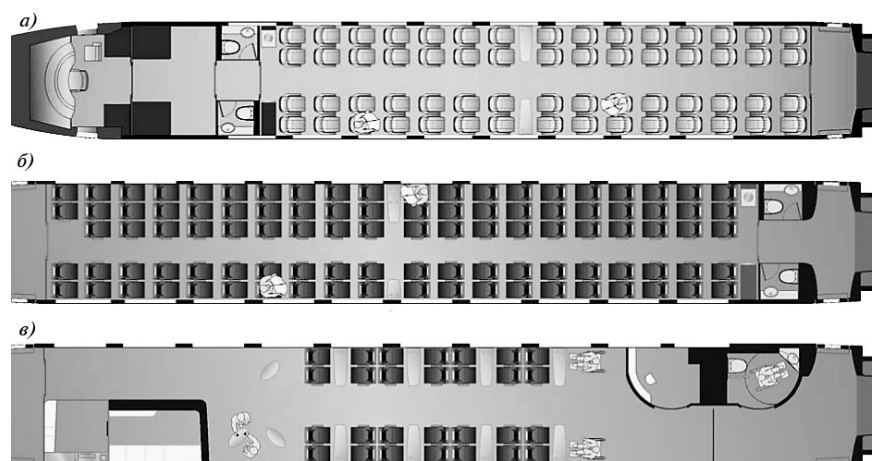


Рис. 3. Планировка пассажирских салонов:

а — вагона первого класса; б — вагона второго класса; в — вагона-бара

Элементы оснащения интерьера

Панели облицовки внутренних боковых стенок выполнены в виде отдельных самонесущих, легко заменяемых модулей. На панелях имеются элементы крепления боковых столиков и кресел, в местах оконных проемов и над ними — элементы крепления ролевых штор и багажных полок.

В вагонах поезда Zefiro применены полы «плавающей» конструкции. Такая конструкция сводит к минимуму передачу внутрь вибраций от основной конструкции вагона. Она также обеспечивает хорошую звуко- и теплоизоляцию. На полу уложены продольные направляющие для установки кресел, дающие возможность их передвижения в случае надобности.

В пассажирских салонах уложен цельный настил пола, в местах сопряжения с боковыми стенками несколько выходящий на стенки (до воздухопроводов системы отопления).

Покрытие полов выполнено из прочного нескользящего материала, обладающего большим сроком службы и устойчивого к частой и интенсивной очистке.

Панели потолков наподобие панелей боковых стенок выполнены в виде отдельных самонесущих, легко заменяемых модулей. Воздуховоды систем вентиляции и кондиционирования, а также каналы электропроводки встроены в конструкцию потолочных и стенных панелей.

Наружные двери и входные площадки вагонов поезда выполнены исходя из предоставления пассажирам максимальных удобств при посадке и высадке независимо от высоты посадочных платформ. Ступени изготовлены так, чтобы исключить возможность проскальзывания, и снабжены устройствами подогрева во избежание скапливания на них снега и льда. От пассажирских салонов входные площадки отделены прозрачными перегородками. На каждой входной площадке установлены две урны большого объема для складирования мусора.

Стойки обрамления проемов наружных дверей оснащены громкоговорителями системы информирования пассажиров, устройствами аварийного открывания дверей, переговорными устройствами, стоп-кранами экстренного аварийного торможения, выключателями освещения придверного пространства и поручнями.

В пассажирских салонах над каждым окном закреплена багажная полка, длина которой соответствует ширине панели облицовки боковых стенок. Кроме того, для размещения крупногабаритного багажа предусмотрены стеллажи, число которых зависит от пожеланий заказчика.

Поезд оснащен аудиовизуальной системой, которая предлагает пассажирам возможность прослушивания музыкальных записей и просмотра видеофильмов через мониторы, установленные в салонах. В каждом салоне первого класса имеются

шесть 20-дюймовых мониторов, в салоне вагона-бара — два 30-дюймовых монитора с жидкокристаллическими или плазменными экранами. Трансляция аудио- и видеопередач осуществляется из центрального блока, находящегося в кабине для поездной бригады.

Внутренние системы

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха функционируют по принципу смешивания свежего наружного воздуха с отработанным перед поступлением в испарители через фильтры. В туалетах и зоне приема пищи в вагоне-баре имеются, кроме того, дополнительные вытяжные вентиляторы. Основные агрегаты установок кондиционирования воздуха в каждом вагоне смонтированы на болтовых креплениях в пространстве между потолком и крышей. Кондиционированный воздух распределяется по каналам прямоугольного сечения с глушителями, проложенным между потолком и крышей, и подается в пассажирские салоны через специальные отверстия. Отопление салонов осуществляется с помощью нагревателей, смонтированных за облицовкой боковых стенок. Силовое электрооборудование и аппаратура системы искусственного климата каждого вагона размещены в шкафах.

Кабины управления имеют автономные системы кондиционирования воздуха.

Система информирования пассажиров предназначена для обеспечения пассажиров информацией, относящейся к поездке, и связью с поездной бригадой.

Подсистема звукового оповещения выполняет следующие функции:

- выдачу пассажирам речевой информации из кабины управления или кабины для поездной бригады;
- внутреннюю связь между машинистом и поездной бригадой, находящимися в разных кабинах;
- внутреннюю вызывную связь пассажиров с машинистом или поездной бригадой в экстренных случаях через устройства, размещенные на входных площадках;
- трансляцию музыкальных записей из кабины поездной бригады (с проигрывателя компакт-дисков).

Подсистема визуальной информации оснащена электронными информационными дисплеями двух типов:

- наружными, смонтированными над всеми входными дверями;
- внутренними, смонтированными в пассажирских салонах.

Тележки

Тележки поезда Zefiro разработаны с максимально возможным использованием стандартизированных компонентов в конструкции как самих тележек,

так и сопряжений тележек с кузовами. В поезде применены тележки двух типов — моторные и поддерживающие. На раме каждой моторной тележки закреплены два тяговых двигателя.

По конструкции моторные и поддерживающие тележки унифицированы и имеют одинаковые основные размерные параметры. Колесная база тележек равна 2500 мм, диаметр новых колес — 915 мм, оси — типа UIC A4T.

Рамы тележек имеют Н-образную конфигурацию. Они спроектированы с оптимизацией по распределению масс и изготовлены из стали марки S355J2G3 в соответствии с европейским стандартом EN 10025. Структурная целостность конструкции и срок службы по факторам усталости рассчитаны с использованием математической модели по методу конечных элементов и проверены в процессе усталостных испытаний. При проектировании моторных тележек руководствовались документом МСЖД 615-4, при проектировании поддерживающих тележек — документом МСЖД 515-4.

В колесных парах применены изготовленные в соответствии с документом МСЖД 812 моноблочные колеса, в которых выполнены отверстия для гидравлического расформирования колесных пар. Для колес выбран профиль поверхности катания типа ORE S1002, адаптированный к подуклонке рельсов, равной 1:40. По желанию заказчика можно применить колеса с иным профилем.

Оси колесных пар — полые. Они спроектированы в соответствии с европейскими стандартами EN 13103 (для поддерживающих тележек) и EN 13104 (для моторных тележек) и изготовлены из стали марки A4T. Предусмотрено при изготовлении осей испытывать их на заводе в соответствии с документом МСЖД 811.

Первая ступень рессорного подвешивания состоит из стальных винтовых пружин, установленных между корпусами букс и боковинами тележек. Над винтовыми пружинами расположены промежуточные резинометаллические элементы, обеспечивающие акустическую изоляцию подвешивания. Направление осей колесных пар осуществляется посредством качающихся поводков с упругими резинометаллическими втулками.

Во второй ступени подвешивания в опирании кузова вагона на рамы тележек применены парные пневматические баллонные рессоры. В случае повреждения одной из пневматических рессор безопасность и плавность движения сохраняются за счет наличия интегрированной в ней аварийной пружины из резинометаллических элементов. Для обеспечения высокого уровня ходовых свойств для каждой пневматической рессоры необходим дополнительный воздушный резервуар емкостью около 90 л. Такие резервуары встроены в шкворневые балки рамы кузова.

Уравнительные клапаны между кузовом и тележками регулируют давление воздуха в рессорах в целях выравнивания высоты подвешивания двух тележек вагона независимо от его населенности.

Поперечное перемещение тележек относительно кузова сверх установленного предела ограничивается резиновыми упорами, имеющими нелинейную характеристику. Для обеспечения неперевышения установленного коэффициента виляния каждая тележка оснащена двумя системами тяг, ограничивающих угловые колебательные движения. Такая система состоит из смонтированного на раме тележки торсионного рычага, соединенного с двумя вертикальными стержнями на раме кузова.

Передача тяговых и тормозных сил между кузовом и тележками осуществляется с помощью шкворней. Для стабилизации хода используются фрикционные сегментные опоры, размещенные между шкворневыми балками кузова и тележек.

Между шкворневой и боковыми балками каждой тележки тяговые и тормозные силы передаются посредством четырех соединительных тяг. Во избежание передачи продольных колебаний от тележки на кузов две тяги связаны с торсионным рычагом, который упруго подвешен на шкворневой балке тележки.

Система электропитания

Крышное оборудование

Основными функциями оборудования, размещенного на крышах вагонов, являются подача напряжения контактной сети на главный трансформатор, а также защита от перенапряжений и фильтрация нежелательных искажений формы тока.

Токоприемники поезда Zefiro спроектированы из расчета надежного токосъема при движении с высокой скоростью и уменьшенного сопротивления встречному потоку воздуха.

Главный вакуумный линейный выключатель, совмещенный с заземлителем, имеет электрический привод и отличается повышенной разъединительной способностью. В нем предусмотрена токовая защита. Внутренний блокировочный механизм действует от сжатого воздуха.

Разрядник, служащий для защиты электрооборудования от атмосферных перенапряжений, имеет высокую входную емкость и энергопоглощающую способность, а также увеличенную площадь охвата защитой. Активные компоненты разрядника выполнены из оксида цинка без внутренних воздушных промежутков, кожух изготовлен из кремнийорганического каучука. Разрядник не требует технического обслуживания.

Главный трансформатор

Функцией главного трансформатора является понижение напряжения контактной сети до уровня, оптимального для питания тяговых и вспомогательных электрических цепей. Первичная (высоковольтная) и вторичная (низковольтная) обмотки трансформатора гальванически разделены.

Трансформатор рассчитан так, чтобы минимизировать эффект броска пускового тока. Он оснащен собственной системой охлаждения. Потери энергии поглощаются хладагентом (эфиром или минеральным маслом), циркулирующим внутри трансформатора и одновременно служащим в качестве изолирующего материала. Накопленная хладагентом тепловая энергия рассеивается в жидкостно-воздушном теплообменнике, после чего хладагент возвращается в трансформатор.

Фильтр линейных гармоник

Фильтр линейных гармоник служит для предотвращения резонансных явлений, обусловленных наличием фоновых шумов, который генерирует токи помехи на частоте резонанса в системе контактная сеть — трансформатор. Фильтр также обеспечивает электрическую совместимость поездов, одновременно находящихся в одной фидерной зоне. Он подключен к вторичной обмотке главного трансформатора.

Основные компоненты фильтра, за исключением резистора, помещены в том же корпусе, что и контрольно-управляющая аппаратура трансформатора, а резистор размещен на крыше.

Аккумуляторные батареи

Функцией аккумуляторных батарей является бесперебойная подача напряжения 110 В постоянного тока всем бортовым потребителям энергии поезда, в том числе цепям управления, системам освещения, аварийной вентиляции и т. п. Устройство заряда батарей получает питание от вспомогательной сети трехфазного переменного тока.

На каждой базовой секции установлены две батареи и два зарядных устройства, подключенные к общей шине.

Тяговый привод

Основной функцией электрооборудования тягового привода поезда Zefiro является преобразование энергии, получаемой от вторичной обмотки главного трансформатора, в крутящий момент на ободах колес.

Тяговый привод условно разделен на три ступени:

- линейный преобразователь;

- промежуточное звено постоянного тока;
- преобразователь тяговых двигателей.

Оборудование тягового привода защищено от неустраняемых повреждений, вызванных перенапряжениями, сверхтоками, короткими замыканиями на землю или массу и перегревом. Преобразователи имеют дополнительную защиту, которая предотвращает их повреждение в случае короткого замыкания на внешних выводах.

Схема зарядки

Функциями схемы зарядки являются контролируемое соединение главного трансформатора с линейным преобразователем, а также изолирование неисправного тягового привода.

При приведении тягового привода в рабочий режим зарядный контактор соединяет линейный преобразователь с главным трансформатором через зарядный резистор, который ограничивает начальный ток в промежуточном звене постоянного напряжения.

Линейный преобразователь (LCM)

Функцией линейного преобразователя является преобразование (выпрямление) напряжения переменного тока, получаемого от контактной сети и пониженного в главном трансформаторе, в стабильное напряжение промежуточного звена постоянного тока. Он должен также выполнять преобразование в обратном направлении, т. е. постоянного тока в переменный, что необходимо в режиме электродинамического торможения.

Элементную базу преобразователя-выпрямителя составляют биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) с микропроцессорной логикой управления. Преобразователь имеет модульное исполнение и включает четыре идентичные фазы, причем каждые две фазы образуют линейную схему, а обе линейные схемы вместе образуют модуль четырехквadrантного регулятора. На входе каждая схема соединена с вторичной обмоткой трансформатора, на выходе они включены параллельно звену постоянного тока. Напряжение во вторичной обмотке главного трансформатора и фазовый угол регулируются в соответствии с линейным напряжением, с тем чтобы при передаче активной и реактивной мощности от контактной сети поезду коэффициент мощности на токоприемнике поддерживался на уровне, очень близком к единице.

Примененные в преобразователе IGBT-транзисторы обладают высокими показателями по напряжению и току. Они работают в качестве прерывателей и включаются/выключаются собственными устройствами управления затвором (GDU).

Промежуточное звено постоянного тока (DC-link)

Функциями промежуточного звена постоянного тока являются стабилизация напряжения, получаемого от линейного преобразователя, и питание следующего по цепи преобразователя тяговых двигателей.

Это звено сформировано из параллельно включенных конденсаторов, часть которых соединена с входом преобразователя тяговых двигателей, другая часть — со звеном второй гармоники.

Звено второй гармоники предназначено для фильтрации колебаний напряжения в звене постоянного тока, обусловленных пульсацией с частотой 100 Гц мощности, получаемой от линейного преобразователя. В случае непогашения таких колебаний могут иметь место колебания крутящего момента тяговых двигателей. Это звено настроено на собственную частоту, равную частоте второй гармоники линейного напряжения, т. е. на те же 100 Гц.

В промежуточном звене постоянного тока имеются также заземлитель средней точки и индикатор короткого замыкания на землю. Их функцией является симметризация соединения звена постоянного тока с землей, т. е. обеспечение равенства потенциалов плюса и минуса этого звена по отношению к земле на уровне половины напряжения. При этом обеспечиваются наиболее низкие по отношению к земле потенциалы трансформатора, преобразователей и тяговых двигателей.

Преобразователь тяговых двигателей (MCM)

Функцией преобразователя тяговых двигателей является преобразование (инвертирование) напряжения промежуточного звена постоянного тока в напряжение переменного тока регулируемой амплитуды и частоты, подаваемое на тяговые двигатели. В этом преобразователе-инверторе также применены IGBT-транзисторы с микропроцессорной логикой управления. Как и линейный преобразователь, преобразователь тяговых двигателей состоит из четырех фаз, три из которых используются для инвертирования тока, а четвертая — в качестве прерывателя при перенапряжениях.

В режиме электродинамического торможения преобразователь передает мощность тяговых двигателей, функционирующих как генераторы, в обратном направлении. В случае падения напряжения, что имеет место при движении под нейтральной вставкой, преобразователь тяговых двигателей поддерживает напряжение в промежуточном звене постоянного тока за счет перехода в режим реостатного торможения пониженной мощности. При этом тяговые двигатели сохраняют свою намагниченность, уменьшая время реакции тягового привода, а преоб-

разователь вспомогательных нужд сохраняет работоспособность и поддерживает напряжение питания бортовых потребителей энергии на заданном уровне.

Три инверторные фазы преобразователя тяговых двигателей управляются по методу пространственно-векторной модуляции. Для повышения выходной мощности при работе тяговых двигателей в наиболее интенсивных режимах используется метод частотной модуляции последовательностью прямоугольных импульсов. Частота коммутации преобразователя регулируется таким образом, чтобы избежать появления критических частот, которые могут отрицательно повлиять на работу системы сигнализации.

В преобразователе-инверторе используются частоты коммутации в диапазоне от 500 Гц до 1 кГц, что позволяет на выходе преобразователя иметь малые синусоидальные колебания трехфазной мощности, тем самым минимизируются потери мощности и колебания крутящего момента тяговых двигателей. Конденсаторы промежуточного звена постоянного тока и IGBT-транзисторы преобразователя соединены многослойной шиной с пониженной индуктивностью, что устраняет необходимость в применении снабберных устройств.

Фаза, выполняющая защитную функцию прерывателя при перенапряжениях, используется также для разряда звена постоянного тока при отключении преобразователя-инвертора.

Блоки преобразователей

Элементы преобразователей (линейного и тяговых двигателей) скомпонованы в блоки, помещенные в алюминиевые корпуса (рис. 4). Корпуса герметизированы по классу защиты IP55 и предохраняют чувствительную аппаратуру от воздействия внешних факторов — воды, снега, пыли и т. п. Блоки преобразователей имеют жидкостное охлаждение, в качестве хладагентов используется смесь воды и антифриза. Охлаждение хладагента осуществляется с помощью встроенных жидкостно-воздушных теплообменников. Во избежание появления концентраторов высо-

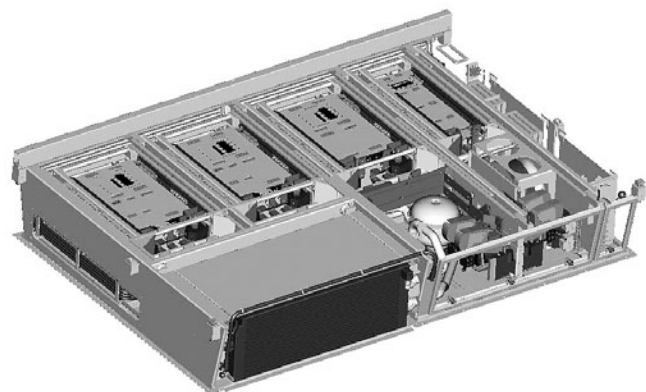


Рис. 4. Блок преобразователя



Рис. 5. Тяговый двигатель

кой температуры блоки оснащены внутренними вентиляторами.

Доступ к преобразовательной аппаратуре блоков возможен с одной стороны коробов, к коммутационной аппаратуре и системе охлаждения — с другой.

Тяговые двигатели

Тяговый блок каждой обмоточной колесной пары состоит из тягового двигателя, редуктора с реактивным устройством и муфты. Блоки частично подвешены на рамах моторных тележек.

В качестве тяговых используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором (рис. 5), специально рассчитанные на работу с питанием от преобразователей на базе IGBT-транзисторов. Каждый тяговый двигатель жестко закреплен на особой раме, которая в свою очередь упруго закреплена на раме тележки. Двигатели имеют принудительную вентиляцию. Каждый вентилятор охлаждает два тяговых двигателя одной тележки.

Вспомогательные системы

Пневматическая система

Каждая базовая секция поезда Zefiro имеет основной мотор-компрессор, установленный в вагоне Т. Кроме того, в вагоне Тр помещен вспомогательный компрессор, служащий для подъема токоприемника.

Основные компрессоры оснащены предохранительными клапанами во избежание превышения предельно допустимого уровня давления сжатого воздуха в пневматической системе. Имеются также аварийные выключатели, которые идентифицируют падение давления воздуха в системе ниже минимального уровня, обеспечивающего нормальное функционирование тормозной системы, и в этом случае автоматически включают экстренное торможение поезда.

Вспомогательные компрессоры получают питание напряжением 110 В постоянного тока от аккумуляторных батарей. Этим обеспечивается возможность подъема токоприемников до начала работы преобразователей, выдающих трехфазное напряжение переменного тока.

Электрическая система

Функцией вспомогательной системы электропитания является питание всех бортовых потребителей энергии трехфазным переменным током при напряжении 400 В и частоте 50 Гц.

Основными потребителями энергии в поезде являются системы отопления, кондиционирования воздуха и вентиляции, охлаждения трансформаторов и преобразователей, а также устройства заряда аккумуляторных батарей.

Требуемая для этих потребителей мощность указанных параметров вырабатывается вспомогательными преобразователями или получается от внешних источников питания.

Каждый вспомогательный преобразователь получает питание от промежуточного звена постоянного тока тяговой преобразовательной цепи и преобразует (инвертирует) постоянный ток в переменный. Преобразователь снабжен фильтром, уменьшающим содержание электрических гармоник на выходе звена постоянного тока, и трансформатором, изолирующим высоковольтный выход преобразователя от сети 3×400 В, 50 Гц.

Вспомогательные преобразователи установлены в вагонах Мс и М каждой базовой секции поезда и соединены трехфазной шиной. В случае отказа одного из преобразователей питание бортовых потребителей обеспечивает второй, но в режиме пониженной мощности. Работа сети в таком режиме контролируется поездной системой управления.

Электрооборудование, размещенное под кузовами вагонов, получает питание через распределительные коробки, также установленные под кузовами, внутреннее оборудование — через распределительные коробки, расположенные в вагонах на уровне пола, оборудование кабин управления — через распределительные коробки, смонтированные в кабинах.

Подключение вспомогательной сети к внешним источникам питания 3×380 В, 50 Гц осуществляется посредством розеток, имеющих с каждой стороны вагонов Тр.

Тормозная система

Основной для поезда Zefiro является система электродинамического тормоза. Кроме того, поезд оснащен системой прямодействующего электропнев-

матического тормоза. Механическая тормозная система должна иметь такую мощность, чтобы обеспечивалось соблюдение установленной длины тормозного пути при торможении с максимальной эксплуатационной скорости с использованием только фрикционного тормоза.

Торможение осуществляется с помощью тормозных дисков. На обмоторенных колесных парах тормозные диски смонтированы на колесных дисках (по два), на поддерживающих колесных парах — на осях (по три).

Взаимодействие тормозных систем обеспечивается системой управления поезда через блоки управления тормозами (BCU), установленные в каждом вагоне.

Все колесные пары поезда оснащены микропроцессорными устройствами защиты от проскальзывания (WSP), соответствующими документу МСЖД 541-05 и функционирующими во всех режимах торможения. Эти устройства оптимизируются с использованием методов математического моделирования и сертифицируются по результатам ходовых испытаний.

В системе управления тормозами обеспечивается оптимальное взаимодействие электродинамического и электропневматического тормозов с учетом состояния механического тормозного оборудования (например, износа тормозных дисков и накладок). При этом сначала приводится в действие электродинамический тормоз и уже затем электропневматический.

Система управления тормозами поезда обеспечивает также нормальную работу электропневматического тормоза, когда поезд находится в режиме управления по системе многих единиц, а также буксировки (в нерабочем состоянии) локомотивом или другим поездом. Для этого имеется соответствующий интерфейс с контролем давления сжатого воздуха в тормозной магистрали.

Система управления и контроля

Бортовая система управления и контроля поезда Zefiro (TCMS) скомпонована так, чтобы свести к минимуму потребность в электропроводке. Сеть передачи данных между отдельными элементами системы построена в соответствии с требованиями стандарта IEC 61375.

Система имеет динамичную конфигурацию для поддержки функционирования при работе в режиме управления по системе многих единиц. Соответственно, органы управления и контроля ведущей секции

управляют и контролируют работу оборудования всего поезда.

Основными объектами управления и контроля являются:

- оборудование пневматической системы;
- аппаратура систем сигнализации и управления движением;
- автоматические сцепные устройства;
- система питания бортовых потребителей энергии;
- аккумуляторные батареи и устройства их заряда;
- оборудование и аппаратура тормозной системы;
- наружные входные двери;
- аппаратура системы противопожарной защиты;
- оборудование и аппаратура систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- аппаратура системы освещения;
- аппаратура системы информирования пассажиров;
- оборудование и аппаратура тягового привода;
- оборудование туалетов.

На пультах в кабинах управления смонтированы цветные дисплеи, управляемые с помощью меню. На дисплеи можно вызывать информацию о состоянии и функционировании большей части оборудования поезда.

Система управления и контроля спроектирована так, что машинист и члены поездной бригады имеют доступ к информации разного уровня в соответствии со своей компетенцией. Техническое и программное обеспечение системы в достаточной степени резервировано, так что отказ одного компонента не влияет на надежность работы системы в целом.

В составе системы имеется подсистема диагностики, охватывающая все системы поезда, включая более высокую по иерархии систему управления и контроля.

Обнаруженные отказы и дефекты классифицируются по характеру и степени тяжести, и сведения о них поступают в порядке, соответствующем данной классификации. Информация об отказах и дефектах не ниже определенного класса записывается в памяти подсистемы. По желанию машинист или член поездной бригады может вызвать на дисплей хранящуюся в архиве информацию о любом таком отказе или дефекте.

Есть возможность дистанционной передачи архивированных в подсистеме данных в память стационарных компьютеров внешних систем, находящихся, например, в депо или центре управления движением поездов.

По материалам компании Bombardier Transportation.